



ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОНЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

В.Кочергин, А.Лернер, ОАО "Машиностроительный завод", Электросталь;
Д.Ляхов, И.Козлов, ООО ПКП "Союзмаркет", Москва

Тепловыделяющая сборка (ТВС) энергетических ядерных реакторов, используемых в электроэнергетике, предназначена для работы в составе активной зоны атомной электростанции. Ее изготовление включает в себя лазерный раскрой листа из циркониевых сплавов на заготовки. Из-за нагрева металл интенсивно взаимодействует с кислородом воздуха, при этом снижаются его антикоррозионные свойства. В статье рассмотрены вопросы проведения измерений и контроля с помощью оптико-электронных систем таких компонентов ТВС, соединяемых с помощью сварки, как дистанционирующие и пластинчатые решетки.

ЛАЗЕРНЫЙ РАСКРОЙ ЗАГОТОВОК И СВАРКА ПЛАСТИНЧАТЫХ ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩИХ РЕШЕТОК

Тепловыделяющая сборка (ТВС) энергетического ядерного реактора предназначена для работы в составе активной зоны атомной электростанции. Она содержит компоненты, изготовление которых занимает значительные объемы работ, связанных с механической обработкой металлических заготовок и, соответственно, с использованием традиционного лезвийного инструмента – резцов, фрез, сверл, а также штампов и т.п. Совершенствование конструкции и технологии изготовления компонентов ТВС, направленное на снижение затрат, связано с переходом от трубных заготовок к более дешевым листовым заготовкам. Раскрой таких заготовок, имеющих разные толщины в большом диапазоне, удобно проводить с помощью

лазерных технологий, которые позволяют обходиться одним универсальным инструментом – лазерным лучом. Известно, что такой инструмент всегда готов к высокопроизводительной работе с высоким качеством, не требует периодических перезаточек, новой номенклатуры при переходе на новый типоразмер и других вспомогательных действий, характерных для традиционного набора технологической оснастки.

Реакторы типа ВВЭР – водо-водяные энергетические реакторы, по западной терминологии PWR – pressure water reactor, работают на тепловых, или медленных, нейтронах энергией менее 1 эВ. Интенсивность выработки энергии такими реакторами зависит от материалов компонентов их активной зоны. ТВС энергетических ядерных реакторов содержит в качестве конструкционного материала компонентов цирконий, обладающий

минимальным по сравнению с другими металлами сечением захвата нейтронов. Цирконий и сплавы на его основе предпочтительны в качестве материалов для компонентов ТВС, поскольку для тепловых нейтронов такие компоненты как бы наиболее "прозрачны". Но обработка деталей из сплавов циркония требует специфических подходов ввиду чувствительности к перенасыщению кислородом, особенно когда применение лазерной обработки связано с интенсивным местным разогревом обрабатываемой заготовки.

Поэтому, например, при изготовлении пластинчатых решеток перемешивания теплоносителя ТВС реактора ВВЭР-1000 (рис.1), предназначенных для повышения интенсивности перемешивания теплоносителя (интенсифицирующие решетки - ИР), потребовались долгие поиски оптимального способа лазерного раскроя листа на пластинчатые заготовки. Ведь необходимо было исключить их интенсивное взаимодействие с кислородом, содержащимся в воздухе. При проведении лазерного раскроя на заготовки листа из циркониевых сплавов Э110, Э125 и других типов металл при нагреве интенсивно взаимодействует с кислородом воздуха. При этом снижаются его возможности противостоять коррозионным процессам в стадии производства, а еще в большей степени - в стадии эксплуатации в качестве компонентов ТВС ядерных реакторов, используемых в сфере электроэнергетики.

Была поставлена задача разработать такую методику лазерного раскроя, которая могла бы позволить увеличить производительность и упростить конструкцию применяемого оборудования. При этом она должна была еще и гарантированно обеспечить защиту листа циркониевого сплава, используемого в материале, от воздействия кислорода воздуха. Подбирая оптимальные

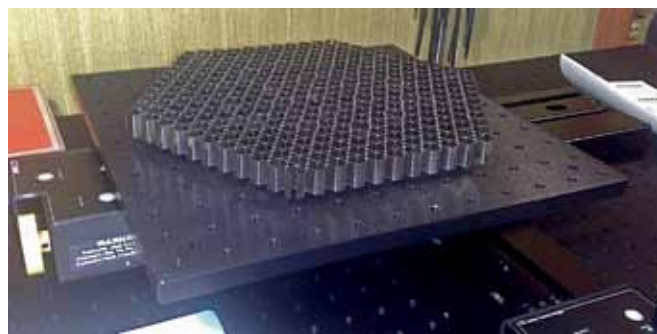


Рис.1. Интенсифицирующая решетка, установленная и закрепленная на координатном столе установки

соотношения длин волн лазерного излучения, а также давления обдува поверхностей зоны обработки защитным инертным газом, удалось получить такой результат. Инертный газ подводится к соплу через патрубок, соединенный с камерой для инертного газа, на выходе из которой установлено рабочее сопло. Такие приемы в комплексе обеспечивают не только обволакивающую защиту металла инертным газом при выполнении высокотемпературной операции раскроя, но также позволяют быстро охладить разделенные части листового материала. Это практически исключает снижение возможности материала листа противостоять коррозионным процессам. Причем антикоррозионные свойства не исчезают как во время проведения самого раскроя, так и при дальнейшей эксплуатации изделий, полученных с применением лазерного раскроя.

Раскrojенные таким образом пластинчатые заготовки собирают в решетки путем соединения типа "паз в паз", в результате чего образуется поле интенсифицирующей решетки. После сборки пластины фиксируют, проплавляя узлы их соединения между собой. Это

проплавление осуществляют на установке лазерной сварки сначала с одной стороны поля решетки, а затем, после переворота, – с другой ее стороны. Для навигации луча на требуемые точки соединения разработан специализированный координатный стол с программным управлением, позволяющий производить лазерную сварку решеток с обеих сторон в автоматическом режиме.

Разработанный и внедренный в производство способ раскроя листовых заготовок деталей из сплавов циркония защищен патентом РФ на полезную модель [1], а также патентом на изобретение [2].

Соединяют собранные в поле ИР пластины, как было сказано выше, на установке лазерной сварки. Собранные после раскроя пластин поля решеток закрепляют в специальном кондукторе. Кондуктор устанавливают на координатный стол сварочной машины. По заданной программе каждый узел сочленения пластин, требующий сварного соединения, подводится на позицию сварки. Произведя предварительное прицеливание и фокусировку, выполняют оплавление узла сочленения пластин согласно требованиям конструкторской документации. Сварка выполняется последовательно с каждой стороны поля решетки. По окончании процесса сварки решетка передается на стенд ОЭСК-4. На нем контролируют качество выполнения сварных швов, выявляют, если есть, неприяты или другие недопустимые дефекты. В случае их обнаружения составляется программа выполнения доработок каждой конкретной решетки. Забракованную решетку с подготовленной программой доработки снова подают на установку лазерной сварки, на которой идет сварка узлов решетки, не соответствующих требованиям.

Чтобы снизить затраты на производство ТВС энергетических ядерных реакторов типа ВВЭР, необходимо уделить пристальное внимание операциям контроля. Только проведенный в полном объеме контроль может подтвердить выполнение требований к качеству исполнения технологических операций на неразъемных соединениях, например – сваривание, соблюдение указанных размеров геометрических параметров и иных требований, оговоренных в конструкторской документации. Проведение измерений и контроля таких компонентов тепловыделяющих сборок энергетических ядерных реакторов типа ВВЭР, как дистанционирующие решетки (ДР), а также пластинчатые решетки, предназначенные для интенсификации перемешивания теплоносителя (ИР)



Рис.2. Взаимное расположение телекамер для сканирования

обеспечивают оптико-электронные системы (ОЭС), позволяющие бесконтактно с высокой точностью выполнять множество контрольных и измерительных операций. ОЭС обеспечивают быстродействие их выполнения, получения и выдачи результатов, удобство в работе, в том числе в системе хранения, переработки и дальнейшего использования полученной информации.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИР

Операции контроля качества лазерной сварки пластин при изготовлении пластинчатых решеток (ИР) ТВС реактора ВВЭР-1000 включают в себя обнаружение отклонений сварных соединений от требуемого качества, идентификацию и присвоение оценочного статуса, а также координирование несоответствующих требованиям швов для отправки решетки на повторное проведение сварки этих швов. Контроль проводят на установке ОЭСК-4. Эта ОЭС снабжена системой

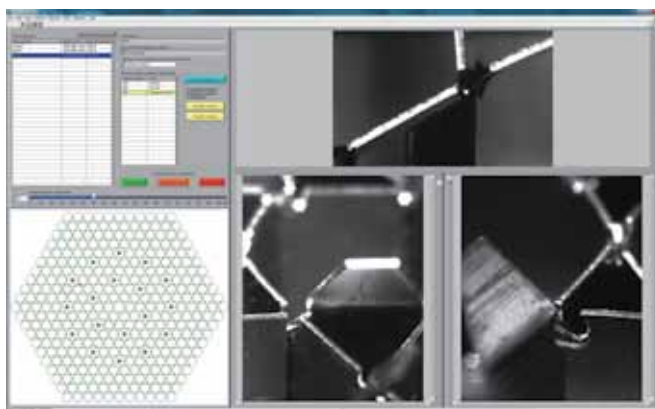


Рис.3. Интерфейс инспектирования сварных соединений



Список проектов обновить список проектов

Имя проекта	Время	Инспектировано
emotion10		0.00 %
emotion_template1		0.00 %
luna1	24.03.2011 13:46	0.08 %
luna2	24.03.2011 13:46	0.01 %

Рис.4. Список проектов

визуализации и предназначена для отображения, анализа и присвоения определенного статуса каждому сварному соединению на решетке.

Во время проведения всего комплекса операций по контролю качества выполнения лазерных сварных швов решетка остается закрепленной в первоначальной позиции до тех пор, пока не выполнится последнее действие. После чего она переворачивается другой стороной. Аналогичные контрольные измерения проводят с обратной стороны решетки, после вся полученная информация поступает на обработку. Для визуализации каждого сварного соединения с трех сторон и сверху расположены телекамеры, сканирующие решетку (рис.2).

При запуске программа отображает список отсканированных ранее с ее помощью проектов. Оператор, выбрав интересующий его проект, может посмотреть последовательно каждое сварное соединение с трех сторон: сверху и два кадра под углом 45° снизу. Таким образом, сам оператор может удостовериться в качестве сварного соединения и присвоить ему соответствующий статус: хороший, подозрительный, плохой. Также программа автоматически присваивает шву статус

Имя проекта
luna1

Путь к папке выбранного проекта
% D:\Scans\luna1

Выбор стороны решетки для инспектирования
 Нижняя сторона

Рис.5. Окно свойств проекта и выбора контролируемой стороны решетки

"просмотрен оператором" в случае, когда оператор не определил статус сварного соединения. Это сделано для того, чтобы наглядно подсвечивать сварные соединения, которые были или не были просмотрены. Вся информация о статусе каждого соединения сохраняется в том же проекте, который открыл оператор, и наглядно отображается в графическом виде (на схеме решетки отображаются все плохие, хорошие и подозрительные сварные соединения). Просмотрев все сварные соединения, оператор может, нажав на кнопку генерации отчета, открыть сгенерированный файл в формате Microsoft Office Word. Туда автоматически будет поступать информация относительно контролируемой решетки, а также выводиться все координаты подозрительных и плохих соединений. К генерации отчета можно вернуться в любой момент, выбрав интересующий оператора проект.

Предусмотрено, что после исследования решетки оператор может сгенерировать файл, содержащий координаты сварных соединений, требующих доработки. Файл будет содержать данные этих сварных соединений уже в координатной системе установки сварки решеток.

ее на интересующую часть изображения, то, щелкнув левой кнопкой мыши, можно приблизить этот участок в два раза. Если зажать shift на клавиатуре, и нажать также левой кнопкой мыши, то изображение, наоборот, уменьшится в два раза. С помощью кнопки с изображением руки, можно приближенное изображение перетаскивать мышкой, позволяя рассматривать увеличенные участки по всей площади снимка. Если необходимо вернуться к общему виду фотографии, надо нажать правой кнопкой мыши на фотографии шва и выбрать пункт "zoom to fit". При переходе к следующей ячейке все фотографии автоматически перейдут в режим общего просмотра, без приближения.

ДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА С ПРОГРАММОЙ

Запустить программу сканирования можно с помощью файла "main scan.exe". В появившемся окне (рис.11), слева вверху, вы увидите основное окно управления сканированием, которое помечено цифрой 1, в окнах 2, 4, 5, 6 вы должны увидеть появившиеся картинки с четырех видеокамер, а в окне 3 – схематическое отображение решетки

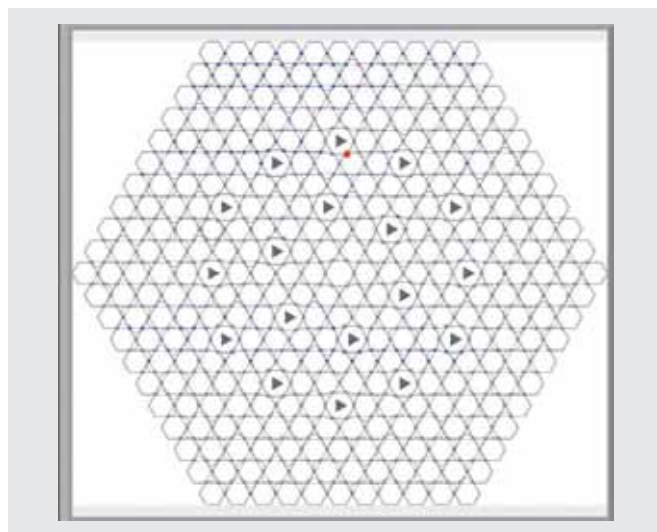


Рис.8. Схематичное представление решетки и статуса каждого узла на ней

и пронумерованные ячейки. Далее следует процедура сканирования. Для начала нового сканирования решетки необходимо задать имя нового

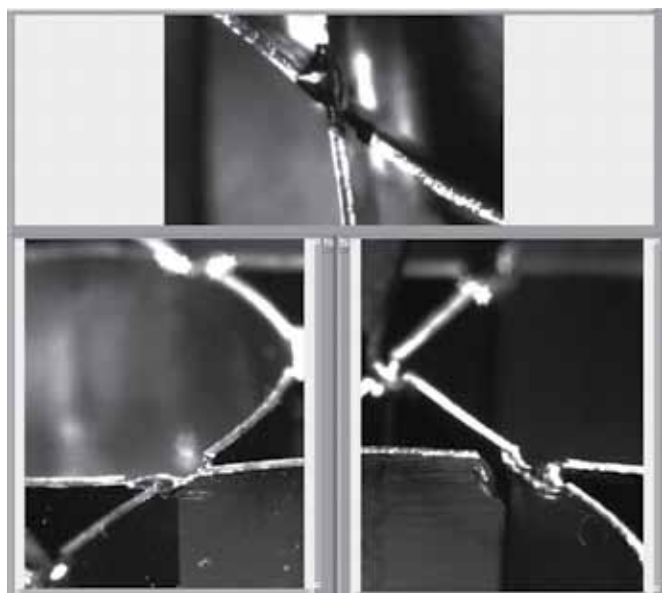


Рис.9. Комбинация изображений одного сварного соединения с разных камер

проекта, чтобы в дальнейшем с помощью второй программы по инспекции сварных швов было удобнее найти по этому имени нужную решетку. Для того чтобы дать имя новому проекту сканирования, необходимо нажать на кнопку "Новый проект" (рис.12). Тогда во всплывающем окне вам будет предложено ввести имя проекта в поле и нажать "ОК".

После этого оператор, в том случае если это первое сканирование после включения компьютера, будет наблюдать автоматическое перемещение координатного стола в нулевое положение координат для автоматической калибровки. Затем координатный стол выедет из-под видеокамер в положение загрузки решетки и выдаст сообщение о том, что оператору необходимо загрузить решетку. Если оператор проводит уже повторное или последующее сканирование, то перекалибровка перед каждой решеткой не производится.

Следующий шаг для оператора перед сканированием решетки – это загрузка самой решетки на координатный столик. Оператору надо действовать с чуткой осторожностью, не применяя ни в коем случае

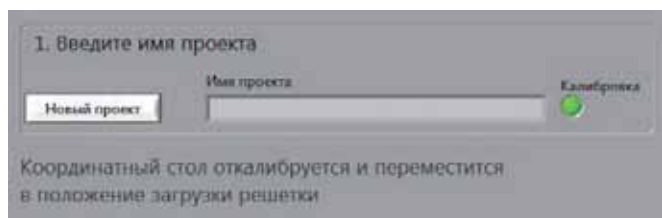


Рис.12. Ввод имени нового проекта



Рис.10. Кнопки управления приближением и перетаскиванием изображений

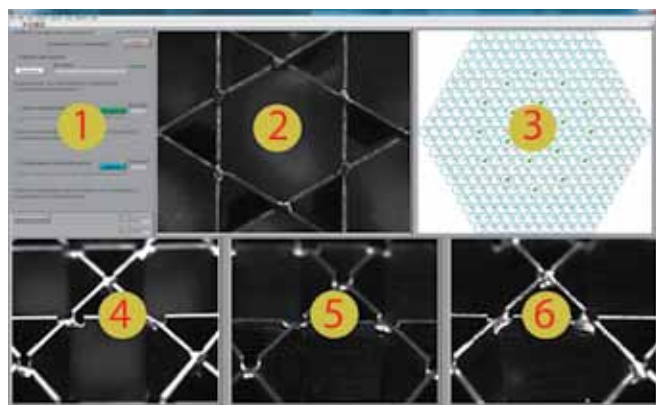


Рис.11. Основное окно программы сканирования решетки

резких движений, чтобы не задеть видеокамеры, и очень слабо нажимая на высокоточный координатный стол. Далее осторожно закрепляют решетку на специальных креплениях. После установки решетки на координатный стол оператору необходимо убедиться в том, что решетка лежит ровно и надета на крепежные штыри. В противном случае, если решетка лежит неровно, – можно повредить хрупкий координатный стол и видеокамеры.

После того, как решетка закреплена, оператор нажимает на кнопку 2 "Сканировать" (рис.13). Координатный столик автоматически подведет загруженную решетку под телекамеры. Это самый долгий процесс, координатный стол будет подводить каждую ячейку под 4 видеокамеры и делать 4 кадра со всех сторон каждой ячейки. Прогресс процесса сканирования можно отслеживать



Рис.13. Кнопка начала сканирования верхней стороны решетки

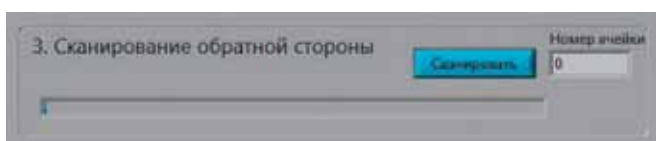


Рис.14. Кнопка начала сканирования нижней стороны решетки

по растущему зеленому столбику под зеленой кнопкой "Сканировать". После завершения процесса сканирования координатный стол автоматически выведет решетку из-под камер в положение для переворота решетки и выдаст соответствующие инструкции оператору. Оператор должен перевернуть решетку для сканирования ее с другой стороны. Вынув и перевернув решетку, оператор нажимает на голубую кнопку 3 "Сканировать" (рис.14), запуская процесс сканирования обратной стороны. Этот процесс также один из самых долгих. После окончания сканирования координатный стол выведет решетку в положение для ее выгрузки. Процесс сканирования решетки окончен.

Приступить к очередному сканированию нужно с начала этого раздела, задав имя нового проекта. Результатом работы программы сканирования является набор фотографий с видеокамер каждого шва с трех сторон. Эти снимки затем можно найти под именем сохраненного проекта с помощью второй программы инспекции сварных швов "main inspector.exe".

Эти действия производятся бесконтактным методом с использованием оптико-электронной системы контроля (рис.15). Система позволяет повысить точность выполнения таких операций, как быстродействие, и удобна в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент 103773 РФ на полезную модель.
2. Положительное решение по заявке на изобретение № 2011101512 "Способ лазерного раскрытия металлического листового материала".



Рис.15. Оптико-электронная система ОЭСК-4-1-Б